

1563369

На правах рукописи

Птицын Геннадий Валерьевич

УДК 62-82:681.518.54

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ГИДРОПРИВОДОВ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН ПО
ПЕРЕХОДНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ.

Специальность 05.02.03 - Системы приводов.

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1999

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель:

кандидат технических наук
доцент Густомясов А.Н.

Официальные оппоненты

доктор технических наук
профессор Курмузов В.Р.
кандидат технических наук
доцент Петров Ю.А.
ОАО "УНИП СТРОИДОРМАШ"

Ведущее предприятие

Защита диссертации состоится "20" сентября 1999 г. в ____ час. на заседании
Диссертационного Совета К.053.15.06 в Московском государственном
техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, 2-я Бауманская
ул., д.5.

библиотеке МГТУ.

ренные печатью, просим высылать по

г.

1563369



шем 1 печатный лист

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

НЕ ВДАЕТСЯ

Актуальность. Гидропривод (ГП) нашел широкое применение во многих технических объектах, в том числе и в строительно-дорожных машинах (СДМ).

В настоящее время доля СДМ с истекшим сроком службы достигла 40% и обновляется только 1,5..2% в год, при норме 8..12%, что вызвало быстрое старение парка СДМ. Данная ситуация в будущем приведет к повышению спроса на рынке строительно-дорожной техники.

При этом российские СДМ должны конкурировать со всё возрастающим импортом. Жесткая конкуренция требует от производителей повышения надежности и технического уровня выпускаемых машин. Повышению надёжности способствует применение передовых технологий технического обслуживания, включающих в себя диагностирование.

1563369
Одними из наиболее сложных видов строительных машин, к тому же работающих в тяжелых эксплуатационных условиях, являются экскаваторы. Для них наиболее актуально диагностирование гидропривода, на долю которого приходится наибольшее число от всех отказов, относящихся к экскаватору в целом.

В работе рассмотрены различные способы диагностирования гидроприводов. Среди них отмечены стато-параметрический, термодинамический, силовой, временной и способ нормированных параметров. Большую информативность и возможность практической реализации имеет способ диагностирования по переходным характеристикам. Однако эффективность его применения зависит от факторов, трудно поддающихся учету, поэтому для повышения достоверности диагностирования гидроприводов по переходным характеристикам необходимо проведение дополнительных исследований.

Целью работы является повышение эффективности диагностирования гидроприводов строительно-дорожных машин по переходным характеристикам и разработка основ методики проектирования диагностических систем, реализующих данный способ.

Методы исследования. Поставленные в работе задачи решались теорети-

МГТУ
им. Н. Э. Баумана
ВИБРАТОРА

ческими и экспериментальными методами. Формирование диагностических моделей осуществлялось методом группового учета аргументов с использованием математического моделирования и программы "STATGRAPHICS Plus 2.1".

Поиск путей минимизации влияния на достоверность диагностирования, нерастворенного воздуха в рабочей жидкости и процессов зарастивания зазоров, по которым происходят перетечки, проводился на основе обобщения ранее выполненных различными авторами исследований и анализа с использованием пакета "Mathcad" физических особенностей процессов, проходящих в агрегатах ГП.

При экспериментальных исследованиях ГП применялся метод планирования многофакторного эксперимента. Полученные экспериментальные данные обрабатывались с помощью статистического метода оценки погрешностей результатов измерений.

Научная новизна.

- Разработан алгоритм формирования диагностических моделей на основе метода группового учета аргументов и математического моделирования.
- Найдены относительные коэффициенты чувствительности диагностических параметров к относительным изменениям структурных параметров, объема диагностической полости и модуля объемной упругости рукавов высокого давления.
- Определены диагностические режимы работы ГП, позволяющие избежать влияний нерастворенного воздуха, находящегося в диагностических полостях, и процессов зарастивания зазоров, по которым происходят перетечки рабочей жидкости.

Практическая ценность работы. По результатам исследований разработаны основы методики проектирования систем диагностирования ГП, реализующих способ определения технического состояния по переходным характеристикам. Показана целесообразность совмещения диагностирования гидропривода и планового технического обслуживания строительно-дорожной машины.

Создана экспериментальная установка, предназначенная для использова-

ния в учебном процессе кафедры "Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика" МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Реализация результатов работы. Результаты работы используются на ремонтном предприятии "Ритм" (г. Ивантеевка) и в НТЛ "Строительные машины" (г. Москва)

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и обсуждались: на XVII Научно-технической и научно-методической конференции, г. Ковров, 1995г.; на Научно-технической конференции "Системы управления, конверсия, проблемы", г. Ковров, 1996г.; на Научно-технической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения Н.Е. Жуковского, г. Москва 1997г.; на Московской научно-технической конференции "Гидромашины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика", г. Москва, 1997г.; на научно-технических совещаниях инженерного центра Ковровского экскаваторного завода в 1997, 1998 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 5 работ.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключении и содержит 130 страниц машинописного текста, 7 таблиц, 41 рисунков список литературы из 103 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследований.

Первая глава содержит обзор материалов отечественных и зарубежных источников и примеры реализации различных способов диагностирования ГП строительно-дорожных машин. Определены перспективные направления в создании систем диагностирования. Проведен анализ способов, которые можно использовать при разработке диагностических систем ГП экскаваторов. Были рассмотрены следующие способы:

- Стато-параметрический способ, основанный на измерении параметров установившегося потока рабочей жидкости, соответствующего двум значениям давления при постоянных частоте вращения вала насоса и температуре рабочей жидкости.

- Термодинамический способ, при котором в результате анализа термодинамических процессов оценивается доля потерь (объемных, гидравлических и механических) в общем энергобалансе. Потери определяются через перепады температур рабочей жидкости.

- Силовой способ, основанный на определении усилия, развиваемого исполнительным органом диагностируемого объекта.

- Временной способ, базирующийся на определении времени выполнения рабочих операций исполнительными органами.

- Способ нормированных параметров, основанный на сравнении полученных экспериментальным путем значений параметров гидропривода и отдельных элементов с их паспортными значениями.

Показана большая информативность и возможность практической реализации на экскаваторе способа диагностирования по переходным характеристикам, позволяющего контролировать техническое состояние гидроагрегатов на протяжении "жизненного" цикла работоспособной машины. Однако эффективность применения этого способа зависит от достоверности сведений, получаемых при анализе переходных процессов, на которые могут существенно влиять такие факторы, как зарастивание зазоров, по которым происходят перетечки, и нерастворенный воздух, находящийся в диагностической полости. Также отсутствует алгоритм формирования диагностических моделей, не исследована чувствительность диагностических параметров к изменениям структурных параметров, объема диагностической полости и модуля объемной упругости рукавов высокого давления (РВД).

Вторая глава посвящена результатам экспериментальных исследований, проведенных для уточнения численных значений параметров математической модели ГП, с последующей проверкой её адекватности.

Анализ статистических данных по отказам гидроагрегатов экскаваторов показал, что наименее надежными являются насос, а также распределители и исполнительные гидродвигатели приводов рабочего оборудования, поворота платформы и хода. Поэтому совершенствование алгоритма диагностирования проводилось на дроссельном ГП экспериментальной установки, включающей в себя насос, распределитель и гидроцилиндры.

Экспериментальная установка состоит из насосной станции, исполнительного и нагружающего гидроцилиндров, золотникового распределителя, регулирующей гидроаппаратуры. ГП снабжен датчиками давления, температуры, частоты вращения вала насоса и расходомером. Конструкция установки позволяет достаточно просто заменять используемые гидроагрегаты. Регистрация и обработка переходных процессов осуществлялась на ЭВМ.

Особенность экспериментальной установки состоит в том, что она позволяет имитировать перетечки в гидроаппаратуре, а также объемные потери в насосе. Это дает возможность использовать для исследований гидроагрегаты независимо от их действительного ресурса и степени износа. Так, например, в ходе эксперимента перетечки у гидроцилиндра (ГЦ) и объемные потери насоса имитировались с помощью дросселей. Для исследования влияния изменения объема диагностической полости на диагностический параметр в экспериментальной установке применялись сменные проточные емкости.

Перед экспериментальным определением переходных процессов в ГП проводилась подготовка, при которой градуировались все датчики со своими измерительными каналами. Все каналы оценивались на пригодность по верхней границе частоты квантования сигнала, а полезные сигналы датчиков проверялись по уровню зашумленности. Кроме этого, определялись внутренняя негерметичность и проводимости используемой гидроаппаратуры, а также объемные потери в насосе. На подготовительном этапе также выбирались требуемые проводимости дросселей - имитаторов.

По экспериментальным расходно-перепадным и расходным характеристикам были уточнены численные значения параметров математической модели ГП. К таким параметрам относятся, в частности, объемные потери в насосе, коэффициенты проводимостей рабочих окон распределителя и коэффициенты перетечек у гидроаппаратуры при закрытых запорно-регулирующих элементах.

Все экспериментальные исследования выполнялись в соответствии с программой, составленной по методу планирования многофакторного эксперимента. Так, во время эксперимента последовательно изменялись три фактора: перетечки в ГЦ, объемные потери насоса и объем диагностической полости. Наибольшая величина проточной емкости определялась максимально возможным

изменением объема диагностической полости при ремонте ГП.

Были получены переходные процессы по давлению при различных значениях структурных параметров и объема диагностической полости.

В третьей главе приведена математическая модель исследуемого гидропривода.

При формировании математической модели использовался расширенный узловый метод, в базис которого включены независимые переменные типа потенциала, типа потока и их производные. Математические модели основаны на уравнениях, определяющих расходы рабочей жидкости для элементов ГП, состояние рабочей жидкости, движение механических частей.

При разработке математических моделей, учитывающих особенности процессов перетечек рабочей жидкости по зазорам, были рассмотрены известные из литературных источников подходы и использованы те из них, которые наиболее полно отражают рассматриваемые явления. Например, для гидроцилиндра учитывалось, что перетечки могут быть как при течении по капиллярам произвольной формы, возникающим в ходе неправильного монтажа или износа уплотнений, так и в ходе пленочного переноса при движении поршня ГЦ.

С целью проверки адекватности математической модели был проведен комплекс расчетов на ЭВМ при численных значениях параметров ГП экспериментальной установки. Сравнение полученных в результате экспериментов и моделирования на ЭВМ переходных процессов (рис.1, рис.2, рис.3) позволило сделать вывод об адекватности разработанной математической модели. Максимальная погрешность не превышала 12%.

Проверенная математическая модель в дальнейшем использовалась для исследования влияния на диагностические параметры модуля объемной упругости РВД, а также для создания диагностической модели ГП.

При анализе способа диагностирования связь диагностических и структурных параметров описывалась функцией чувствительности (ФЧ). По углу наклона касательной к кривой функции чувствительности находился коэффициент чувствительности (КЧ). Функции чувствительности диагностических параметров к изменениям структурных параметров и других факторов нелинейны. При этом коэффициент чувствительности возрастал по мере увеличения

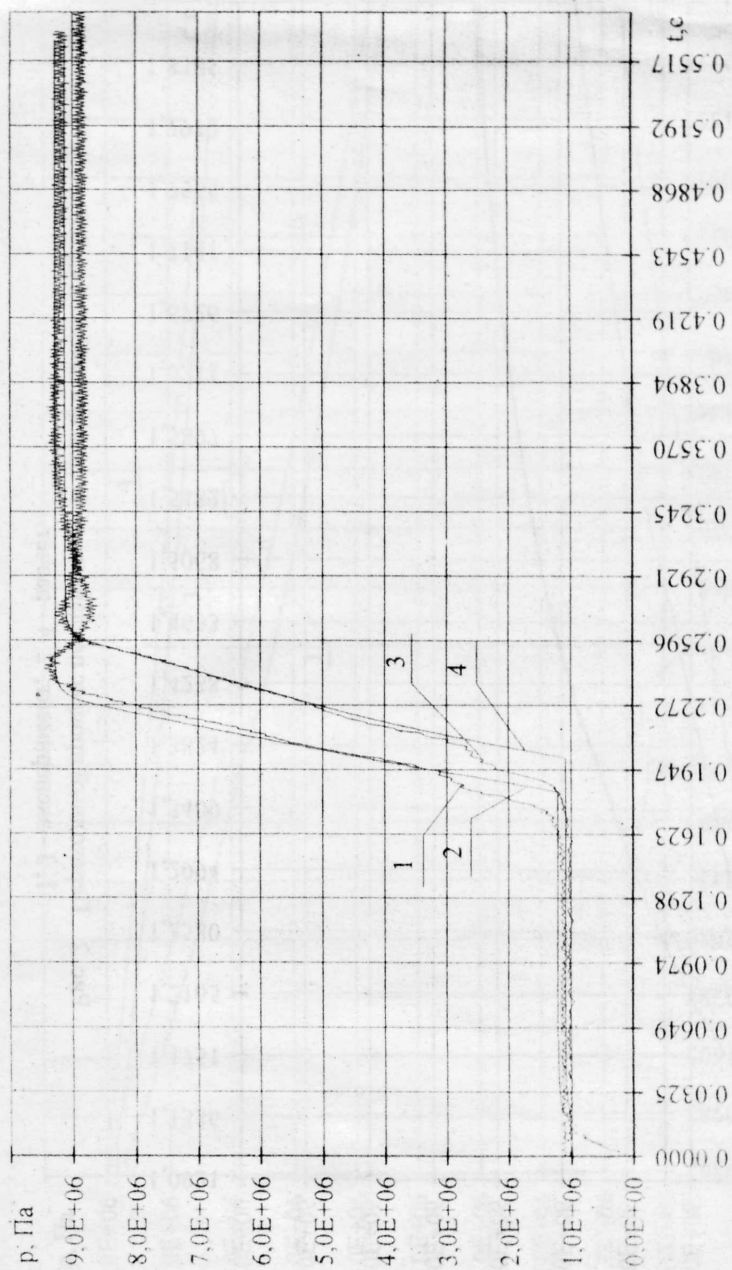


Рис. 1. Переходный процесс по давлению в диагностической полости
1, 3 - эксперимент; 2, 4 - расчет.

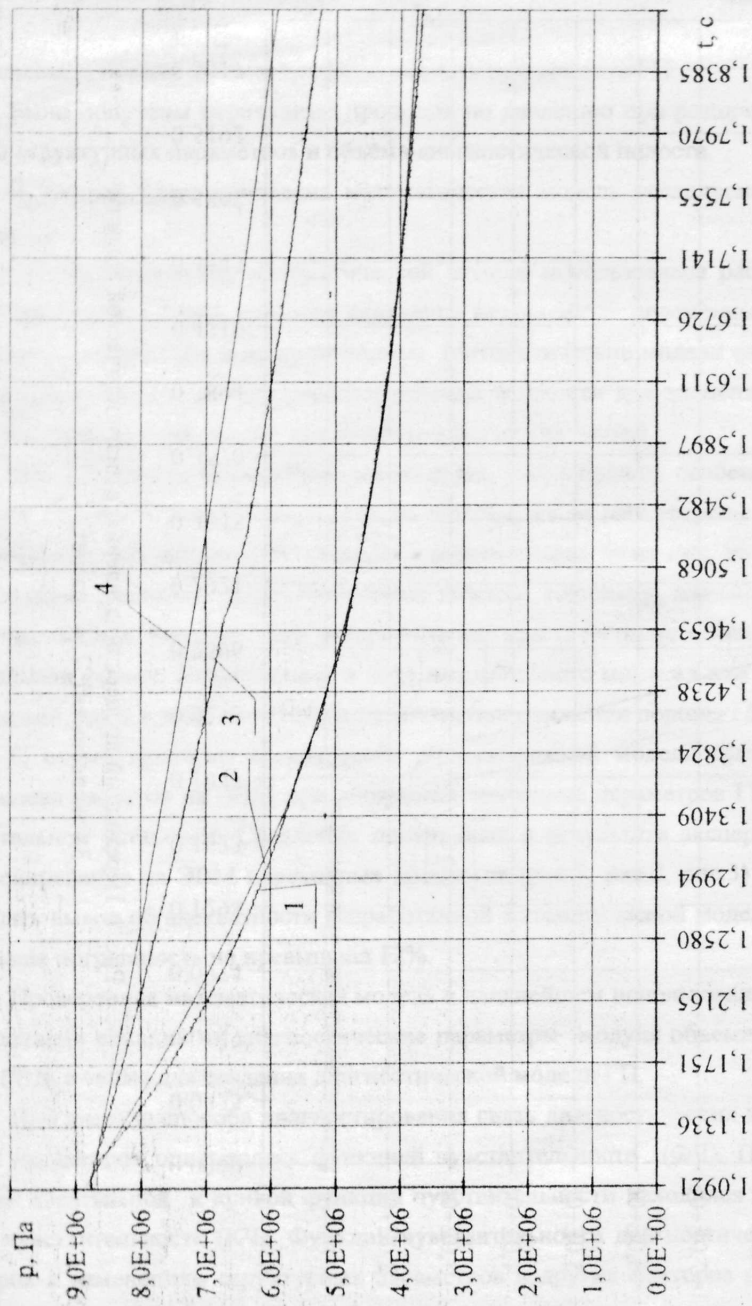


Рис. 2. Переходный процесс по давлению в диагностической полости
1, 3 - эксперимент; 2, 4 - расчёт.

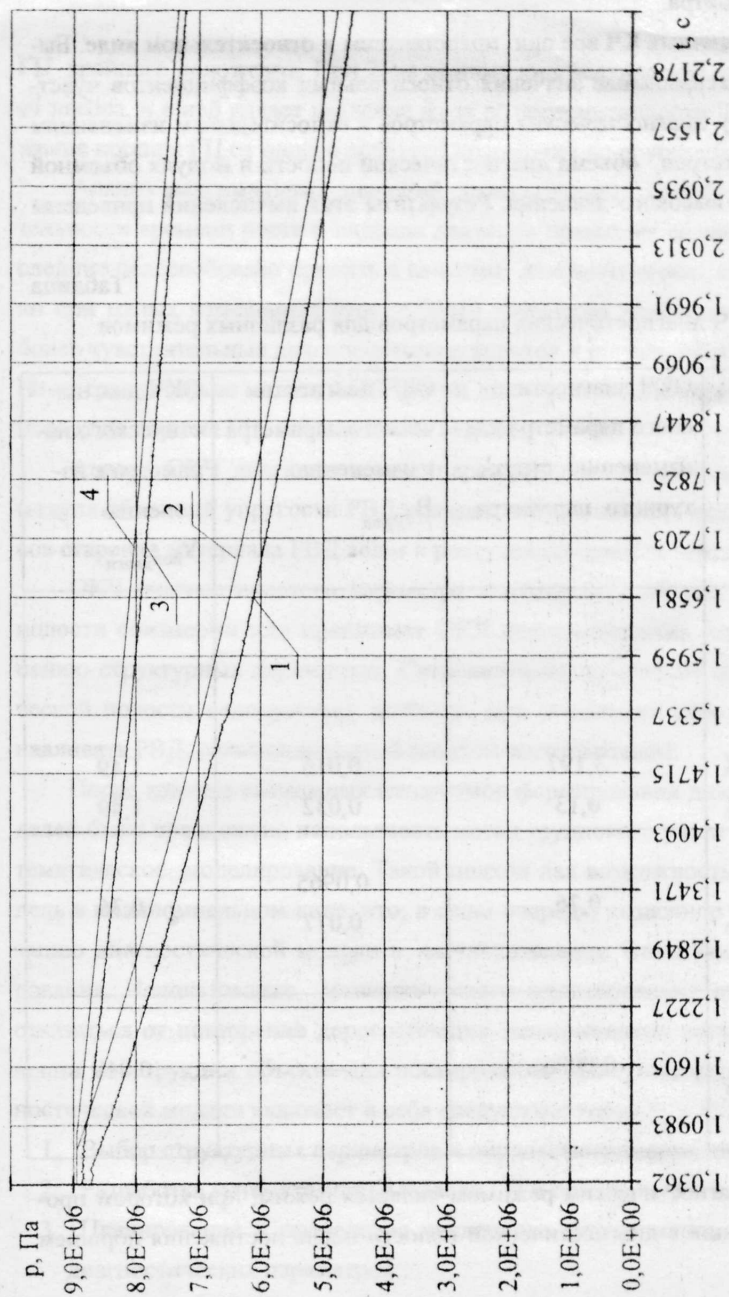


Рис. 3. Переходный процесс по давлению в диагностической полости
1, 3 - эксперимент; 2, 4 - расчет

структурного параметра.

Для сравнения различных КЧ все они представлены в относительном виде. Были определены максимальные значения относительных коэффициентов чувствительности (ОКЧ) диагностических параметров к относительным изменениям структурных параметров, объема диагностической полости и модуля объемной упругости рукавов высокого давления. Результаты этих вычислений приведены в таблице.

Таблица

Значения ОКЧ диагностических параметров для различных режимов

Режим диагностирования ГП	ОКЧ диагностического параметра к изменению структурного параметра.	ОКЧ диагностического параметра к изменению $V_{\text{прряд}}$	ОКЧ диагностического параметра к изменению $V_{\text{полдиагн}}$
1-й (структурный параметр - имитируемые объемные потери насоса): <u>MAX</u> 6% от <u>MAX</u>	3,197 0,13	0,016 0,032	1,49 1,49
2-й (структурный параметр - имитируемые перетечки в ГЦ)	0,76	0,0965 0,077	0,36
3-й (структурный параметр - имитируемые перетечки в ГЦ)	0,0086	—	0,019

Здесь 1-ым диагностическим режимом является режим, при котором происходит рост давления в диагностической полости после достижения порешнем

ГЦ крайнего положения. При 2-ом режиме диагностическая полость отсекается от насоса, и в ней падает давление из-за её негерметичности. 3-ий режим - движение поршня ГЦ от одного крайнего положения до другого (полный ход).

Анализ максимальных значений относительных коэффициентов чувствительности времени роста и падения давления позволяет сделать вывод, что последние целесообразно принять в качестве диагностических параметров. Однако при малых изменениях структурного параметра необходимо устанавливать более чувствительные диагностические датчики и регистрирующую аппаратуру. Из-за сравнительно малого ОКЧ третий диагностический параметр - время полного хода поршня ГЦ - использовать нельзя.

Анализ ОКЧ диагностических параметров к относительному изменению модуля объемной упругости РВД показал, что повышение модуля из-за процессов старения материала РВД ведет к росту достоверности диагностирования.

ОКЧ диагностического параметра к изменению объема диагностической полости соизмерим или превышает ОКЧ диагностических параметров к изменению структурных параметров. Следовательно, изменение объема диагностической полости недопустимо, поэтому при ремонтных работах следует устанавливать РВД, рекомендованный заводом-изготовителем.

После анализа возможных алгоритмов формирования диагностических моделей было предложено использовать метод группового учета аргументов и математическое моделирование. Такой подход дал возможность представить модель в полиномиальном виде, что, в свою очередь, позволило упростить реализацию диагностической модели в вычислительном блоке системы диагностирования. Использование математического моделирования дало возможность отказаться от повторения дорогостоящих экспериментов, например, при изменении конструкции объекта диагностирования. Алгоритм формирования диагностической модели включает в себя следующие этапы:

1. Выбор структурных параметров и определение диапазона их изменения.
2. Разработка математической модели ГП и проверка её адекватности.
3. Планирование и проведение численного эксперимента для определения диагностических параметров.
4. Проведение регрессионного анализа, в котором независимыми перемен-

ными являются диагностические параметры, а зависимыми - структурные параметры. Результатом этого анализа будет диагностическая модель, которую в общем виде можно записать следующим образом

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 = A_{10} + A_{11}Y_1^1 + A_{12}Y_1^2 + \dots + A_{1n}Y_1^n \\ X_2 = A_{20} + A_{21}Y_2^1 + A_{22}Y_2^2 + \dots + A_{2n}Y_2^n \\ \dots\dots\dots \\ X_n = A_{n0} + A_{n1}Y_n^1 + A_{n2}Y_n^2 + \dots + A_{nn}Y_n^n \end{array} \right. \quad (1)$$

где X - структурные параметры; Y - диагностические параметры; A - коэффициенты регрессии.

В частности, для гидропривода экспериментальной установки получена следующая диагностическая модель

$$\begin{cases} Q_{\text{потерь насоса}} = -4,108 \cdot 10^{-7} - 8,155 \cdot 10^{-5} \cdot t_{\text{диагн1}} + 3,574 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\text{диагн1}}^2 \\ Q_{\text{потерь ГЦ}} = 2,419 \cdot 10^{-6} - 4,114 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{диагн2}} + 3,796 \cdot 10^{-7} \cdot t_{\text{диагн2}}^2 \end{cases} \quad (2)$$

После подстановки в диагностическую модель значений экспериментально полученных диагностических параметров для максимальных значений структурных параметров последние были определены с достоверностью 83%. Однако для структурных параметров, составляющих 6% от максимально возможных, достоверность диагностирования снижается до 68%, что объясняется малыми значениями относительных коэффициентов чувствительности.

В четвертой главе приведены условия, которые позволяют определить время начала и окончания процесса диагностирования ГП, при которых достигается наибольшая достоверность. Эти условия зависят от времени растворения воздуха, находящегося в диагностической полости, и от продолжительности процессов зарастивания зазоров, по которым происходят перетечки РЖ.

Расчет времени растворения воздуха t_p проводится по следующей разработанной последовательности

$$\Delta V_p(\Delta t) = \alpha_p \cdot V_2 \cdot \left(\frac{p_2^*}{p_{\text{атм}}} + m_0 \right) \cdot \left(\frac{e^{K_S \cdot \Delta t} - 1}{e^{K_S (t + \Delta t)}} \right), \text{ где } p_1 = p_{\text{атм}} \text{ и } p_2 = p_2^* + p_{\text{атм}}; \quad (3)$$

$$\Delta V_p(\Delta t)_\Phi = \begin{cases} \Delta V_p(\Delta t), \text{ при } \Delta V_p(\Delta t) < V_Q(\Delta t) \\ V_Q(\Delta t), \text{ при } \Delta V_p(\Delta t) \geq V_Q(\Delta t) \end{cases}, \text{ где } V_Q(\Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} Q(t) dt; \quad (4)$$

$$t_p = \left[\frac{V_b}{\Delta V_p(\Delta t)_\Phi} \right] \cdot \Delta t. \quad (5)$$

Здесь $\Delta V_p(\Delta t)$ - объём нерастворенного воздуха, который может перейти в РЖ за время Δt ; α_p - коэффициент растворимости; V_2 - объём жидкости после выдержки под давлением p_2 и полного растворения воздуха; m_0 - коэффициент относительного газосодержания; K_s - коэффициент, определяемый временем растворения половины объёма воздуха; Δt - шаг дискретизации; $\Delta V_p(\Delta t)_\Phi$ - объём воздуха, фактически перешедшего в РЖ за время Δt ; $V_Q(\Delta t)$ - объём жидкости, поступающий в диагностическую полость от источника расхода (насоса); V_b - первоначальный объём воздуха.

Процесс растворения воздуха необходимо проводить, когда рабочие органы гидропривода неподвижны. При этом исполнительные гидродвигатели с трубопроводами представляют собой тупиковые (непроточные) полости, в которые поступает жидкость от источника расхода.

Время заравнивания зазоров, по которым происходят перетечки, определяется по известным зависимостям

$$t_{\text{зазора}} = t_{\text{заравн.}} \text{ при } Q_{t_{\text{зазора}}} = 0.$$

$$Q_{t_{\text{зазора}}} = Q_{t_{0\text{зазора}}} \cdot \left(\left[1 - \frac{2 \cdot \delta_{\text{гс max}}}{h_{0\text{зазора}}} \cdot \left(1 - e^{-\beta \cdot t_{\text{зазора}}} \right) \right]^3 \times \right. \\ \left. \frac{\alpha_{\text{зазора}} \cdot \Delta p_{\text{зазора}} \cdot h_{0\text{зазора}}^3}{12 \cdot l_{0\text{зазора}}} \cdot \int_0^{t_{\text{зазора}}} \left[1 - \frac{2 \cdot \delta_{\text{гс max}}}{h_{0\text{зазора}}} \cdot \left(1 - e^{-\beta \cdot t_{\text{зазора}}} \right) \right]^3 \cdot \frac{D_{\text{max}}}{D = h(t_{\text{зазора}})} \cdot \int K_{\text{III}} \cdot D \cdot dD \cdot dt_{\text{зазора}} \right) \times e$$

где $Q_{t0_{\text{зазора}}}$ - расход РЖ через зазор в начальный момент времени; $Q_{t_{\text{зазора}}}$ - расход РЖ в текущий момент времени; $\delta_{\text{гс max}}$ - максимально возможная толщина граничного слоя; $h_{0_{\text{зазора}}}$ - начальная высота зазора; β - коэффициент пропорциональности, зависящий от типа РЖ и материала стенок щели; $\alpha_{\text{зазора}}$ - коэффициент, учитывающий частичное перекрывание зазора ввиду наличия просветов между частицами и самим зазором; $l_{0_{\text{зазора}}}$ - длина зазора в направлении утечки; D_{max} - максимальный диаметр частиц загрязнения; D - минимальный размер частицы, пропускаемой переменным зазором; $K_{\text{ш}}$ - количество частиц загрязнения на единицу объема.

Анализ процессов заращивания зазоров позволил заключить, что для снижения скорости заращивания необходимо диагностировать ГП при установившейся температуре РЖ, а перед контролем технического состояния проводить плановую замену масла.

Для ГП экспериментальной установки расчетное время растворения 20% содержания воздуха, находящегося в диагностической полости, составляет 2,2 сек., а время полного заращивания зазора между гильзой и золотником распределителя - 21 мин. Следовательно, для повышения достоверности диагностирование необходимо проводить во временном интервале, начало которого соответствует моменту окончания процесса растворения воздуха в диагностической полости, а конец - моменту времени, при котором из-за возможной облитерации и загрязнения зазоров происходит снижение расхода перетечки не более чем на 20% от начального значения.

В пятой главе разработаны основы методики проектирования диагностических систем гидроприводов. Показана целесообразность совмещения диагностирования ГП и технического обслуживания экскаватора. Определены коэффициенты переноса, позволяющие оценивать величину диагностических параметров и выбрать датчики, регистрирующую и измерительную аппаратуру для системы диагностирования.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Повышение надежности гидроприводов СДМ достигается использованием передовых технологий технического обслуживания, включающих в себя диагностирование. Для создания диагностических систем перспективным является способ определения технического состояния гидропривода по переходным характеристикам.

2. Найденные относительные коэффициенты чувствительности диагностических параметров показывают, что увеличение значений структурных параметров ведет к повышению достоверности диагностирования. Возрастание модуля объемной упругости РВД из-за старения материала также способствует повышению достоверности диагностирования.

3. Перспективным для разработки алгоритмов формирования диагностических моделей является метод группового учета аргументов с использованием математического моделирования.

4. Для повышения достоверности диагностирования переходные характеристики необходимо регистрировать во временном интервале, начало которого соответствует моменту времени полного растворения воздуха в диагностической полости, а окончание - моменту времени, при котором из-за возможной облитерации и загрязнения зазоров снижение расхода перетечки не превышает 20% от начального значения.

Материалы диссертации отражены в следующих работах:

1. Густомясов А.Н., Птицын Г.В. Особенности диагностирования гидропривода // Материалы XVII научно-технической и научно-методической конференции Ковровского технологического института. - Ковров, 1995. - С. 95.

2. Густомясов А.Н., Птицын Г.В. Приложение теории и средств многоаспектного моделирования технических объектов к разработке диагностических моделей гидроприводов // Техническая гидромеханика: Тезисы докладов научно-технической конференции. - М., 1997. - С.25.

3. Густомясов А.Н., Тимофеев М.Ю., Птицын Г.В. Снижение влияния не-растворенного газа в рабочей жидкости при диагностировании гидравлических приводов // Приводная техника. - 1997. - №6. - С. 31 - 32.

4. Разработка и исследование методов диагностирования гидроприводов строительно-дорожных машин: Отчет по теме № ГФЭ1003 / МГТУ им. Н.Э. Баумана; Руководитель Попов Д.Н.; Исполнитель Птицын Г.В. - № гос. регистрации 01970007296. - М., 1997. - 73 с.

5. Васильев Д.А., Надоров О.В., Птицын Г.В. Стенд для физического моделирования гидроприводов в режиме диагностирования // Гидромашины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика: Тезисы докладов московской студенческой научно-технической конференции - М., 1997. - С. 18.